

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 21<sup>ΗΣ</sup> ΜΑΡΤΙΟΥ 1985

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΔΟΥΚΑ ΜΟΥΣΟΥΛΟΥ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ.— **Ρύπανση υπογείων υδάτων:**

**Ένα μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης και έλέγχου, υπό του 'Αντεπιστέλλοντος Μέλους κ. Εύσταθίου Α. Μπουροδήμου\*.**

Τò πρόβλημα του διαλόγου μας αφορά την υδροδυναμική ροή ρυπαντών στο υπέδαφος και τή ρύπανση των υπογείων ταμιευτήρων ποσίμου ύδατος.

Ύστατος σκοπός και πρώτος αντικειμενικός στόχος των θεωρητικών και εργαστηριακών έρευνών είναι ή εφαρμογή τής κτηθείσης γνώσεως στη δόμηση μεθόδολογίας συλλογής των ρυπαντών, του βιολογικού και χημικού καθορισμού των, τέλος τής άποτροπής ρυπάνσεων — μολύνσεων των υπογείων υδάτων και προστασίας τής δημόσιας υγείας<sup>1, 2</sup>.

Ή έρευνα θεμελιώνεται αύστηρά, σ' ένα μαθηματικό ντετερμινιστικό μοντέλο στο χώρο τής σύγχρονης έφηρμοσμένης φυσικής που στηρίζει άποφασιστικά τò μέγεθος των ύπολογιστικών δυνατοτήτων και ή δύναμη «λογιστικής μνήμης» και «άποθήκευσης» (storage) των ήλεκτρονικών ύπολογιστών — computers. 'Ογδόντα χρόνια πριν δέν θά μπορούσαμε «νά λύσουμε τò πρόβλημά μας». Δέν ύπῆρχαν τότε ήλεκτρονικοί ύπολογιστές!

Και δέν θά μπορούσαν νά λύσουν τò πρόβλημα τούτο ούτε οί μεγαλύτεροι, οί

\* E. L. BOURODIMOS, **Groundwater Pollution, Fluid Mechanics, Water Resources Development.**

1. Skinner, J. H., "Programs in Land Disposal and Resource Recovery and Conservation" Municipal Solid Waste: Land Disposal, Procs of the 5th Annual Research Symposium EPA — 600/9-79-0223a, 1979, pp. 9 - 21.

2. "Moisture Transport in a Solid Waste Column"—ASCE, Journal of Environmental Engineering Vol. 110, No. 4, August, 1984. (Bourodimos, E. L., Korfiatis G. P., Demetracopoulos, A. G. and Nawy, E. G.).

μεγαλοφυεῖς μαθηματικοὶ τοῦ 20οῦ αἰῶνος: ὁ Klein, ὁ Wiener, ὁ Καραθεοδωρῆς. Ἡ ἀνάπτυξη τῆς φυσικῆς Ἐπιστήμης «στηρίζεται» καὶ «στηρίζεται» στοὺς Computers<sup>3</sup>.

Τὸ μαθηματικὸ μας μοντέλο στηρίζεται — καὶ περιλαμβάνει — σὲ μιὰ ἄρμονικὴ σύνθεση, συμπληρωματικῆς ἀλληλεξαρτήσεως (interdependence) κλάδους τῆς ἐφηρμοσμένης φυσικῆς ὅπως ἡ ρευστομηχανικὴ — ὑδροδυναμικὴ, ἡ ἐδαφομηχανικὴ, ἡ ὑγειονομικὴ μηχανικὴ καὶ ἡ οἰκολογία, τέλος ἡ χημεία καὶ ἡ βιολογία<sup>4</sup>.

Ἐπὶ τὴν ἔννοιαν αὐτὴν ἡ ἔρευνα εἶναι βασικὴ (basic research) δηλ. εἰσφορὰ νέων γνώσεων καὶ «ἀποδελτιώσεων» τοῦ φυσικοῦ ἐπιστητοῦ καὶ μαζί ἐφηρμοσμένη (applied research) δηλαδή εἶναι «ἀπόκριση» σὲ πρακτικὰ (οἰκονομικά, τεχνικὰ καὶ κοινωνικὰ) αἰτήματα ὅπως ἡ ἀποτροπὴ καταστροφῆς τῶν ὕδατικῶν πόρων ποσίμου νεροῦ καὶ ἡ διαφύλαξη τῆς οἰκολογικῆς ἰσορροπίας (ecological balance) καὶ δημόσιας υγείας». Ἐτσι ὀλοκληρώνεται τὸ χρέος καὶ ἡ καταξίωση τῆς Ἐπιστήμης ὅπως τὴν καθώρισε ἡ κλασικὴ σκέψη καὶ ὁ Ἀριστοτέλης — ἀλλὰ καὶ ὁ νεώτερος ἐπιστημονικὸς στοχασμὸς (F. Bacon) — ὡς «θεωρητικὴ» θητεία τοῦ Νοῦ καὶ ὡς «πρακτικὴ» ἐφαρμογὴ στὴν ὑπηρεσία τοῦ Ἀνθρώπου.

Νὰ γιατί ἡ πορεία τῶν θετικῶν καὶ ἐφηρμοσμένων ἐπιστημῶν πρὸς τὴν κατάκτηση τῆς γνώσεως τοῦ φυσικοῦ ἐπιστητοῦ, τὴ σύλληψη τοῦ ὄντως Ὄντος καὶ τὴ δόμηση τοῦ κοσμοειδώλου τῆς νεώτερης Φυσικῆς ἀποτελεῖ ἓνα ὑψηλὸ ὄλυμπιακὸ ἀθλοθέτημα τοῦ Πνεύματος<sup>5, 6</sup>.

Εἶναι ἡ ἐπόδυνη ἀναζήτησις καὶ ἀνακάλυψις τῶν μυστικῶν τῆς Φύσεως καὶ τῆς Ζωῆς, ἡ σύλληψη τῆς Ἀλήθειας μὲ τὴν Ἐπιστήμη. Καὶ μαζί ὁ βαθὺς ἑτασμός καὶ ἡ θέα τῆς Ὁμορφιᾶς ποὺ ἀναζητεῖ ἡ Τέχνη, τέλος ἡ στήριξη καὶ ἡ κράτυνση τῶν ἰδανικῶν τοῦ Ἀνθρωπισμοῦ καὶ τῆς Ἐλευθερίας, ὅ,τι συνθέτει τὸ τρίπτυχο τῶν ἠθικῶν στάσεων καὶ πνευματικῶν σκοπῶν τῆς Ἰδέας τοῦ Ἀγαθοῦ τοῦ Πλατωνικοῦ λόγου τοῦ «Συμποσίου» καὶ τῆς «Πολιτείας».

Ἡ μεσουράνησις τῆς Φυσικῆς Ἐπιστήμης καὶ τῶν ἐφαρμογῶν της, ἡ φωτεινὴ πρόβασις τῆς μαθηματικῆς ἀναλύσεως — μὲ τίς μεγαλειώδεις ἐφαρμογές της στοὺς

3. Sir James Jeans, *The Growth of Physical Science*. A Premier Book — Fawcett Publications — Dec. 1961.

4. «Science and Synthesis» — A UNESCO colloquium — Springer - Verlag - Heidelberg 1971.

5. C. E. M. Joad, *Philosophical Aspects of Modern Science*. Unwin Books — Barnes & Noble, Inc. N.Y. 1964.

6. I. N. Θεοδωρακοπούλου, «Σύστημα Φιλοσοφικῆς Ἠθικῆς» Ἐκδοσις βιβλιοπωλείου Π. Καραβάκου, Ἀθῆναι 1947.

ἠλεκτρονικούς ὑπολογιστές — εἶναι ἡ ἄρρηκτη συνέχεια, ἡ ἀταλάντευτη πορεία τοῦ πνευματικοῦ ἀγῶνος καὶ ἔργου τῆς ἑλληνικῆς σκέψεως ποῦ ἀνθίσε στὴν Ἰωνία τὸν βον π.Χ. αἰῶνα<sup>6</sup>. Τοὺς μεγάλους προσωκρατικούς κοσμολόγους καὶ τοὺς κορυφαίους φυσικούς φιλοσόφους καὶ στοχαστές, τὸν Δημόκριτο, τὸν Ἡράκλειτο, τὸν Ἐμπεδοκλῆ, τὸν Παρμενίδη καὶ Πυθαγόρα διαδέχεται ὁ Πλάτων, ὁ Εὐκλείδης, ὁ Ἀριστοτέλης — ποῦ κυρίως συστηματοποιεῖ κατὰ τρόπο μοναδικὸ στὴν Ἱστορία τοῦ πνεύματος —, τῆ Φυσικῆ Φιλοσοφία καὶ Ἐπιστήμη. Αὐτὴν λαμπρύνουν ἀργότερα ὁ Ἀρχιμήδης, ὁ Πτολεμαῖος, ὁ Ἴππαρχος καὶ ὁ Ἀρίσταρχος — γιὰ ν' ἀναφερθοῦμε ἐνδεικτικὰ σὲ κορυφαῖα ὄροσημα τῆς σκέψεως καὶ τῆς πρωτοπορίας τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν. Ἐπὶ εἴκοσι αἰῶνες σχεδὸν τὸ φυσικὸ κοσμοεἶδωλο στηρίχτηκε στὴν Ἀριστοτελικὴ θεωρία — ποῦ ἐντυσε μὲ τὸ χριστιανικὸ ντύμα τῆς Καθολικῆς Ἐκκλησίας ὁ Θωμᾶς Ἀκινάτης.

Στὸν 16ο καὶ 17ον αἰῶνα ἔχουμε τὴν παρουσία τῶν μεγαλοφυῶν τῆς Φυσικῆς Ἐπιστήμης, τοῦ Νεύτωνος, τοῦ Γαλιλαίου, τοῦ J. Bruno, τοῦ Κοπέρνικου, τοῦ Kepler, τοῦ Καρτεσίου, τοῦ Leibniz<sup>7</sup>. Εἶναι οἱ πατέρες τῆς σύγχρονης Φυσικῆς, τῆς Μαθηματικῆς Ἀναλύσεως καὶ τῆς Νευτώνειας Μηχανικῆς. Στούς τελευταίους πέντε αἰῶνες τὸ κοσμοεἶδωλο τῆς Φυσικῆς στηρίχτηκε σὲ μιὰ νέα ὑποδομὴ φυσικῶν ὑποθέσεων — παρατηρήσεων καὶ τῆς ἀλματικῆς προόδου τοῦ Διαφορικοῦ Λογισμοῦ καὶ τῆς Ἀναλυτικῆς Γεωμετρίας<sup>8</sup>. Ὅλα συγκροτοῦν τὴν νεώτερη αἰτιοκρατία, — ὅ,τι ὀνομάζουμε ντετερμινισμό — τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν ποῦ εἶχε καίρια εἰσφορά καὶ στὴ θεμελίωση αἰτιοκρατικοῦ «σχήματος» ἐρμηνείας τῶν φαινομένων τῶν κοινωνικῶν, ἠθικῶν καὶ πολιτικῶν ἐπιστημῶν.

Σήμερα ἓνα μεγάλο μέρος τῶν φυσικῶν μοντέλων τοῦ μακροκόσμου τῆς νευτώνειας μηχανικῆς — ὅπως ἡ παροῦσα ἔρευνα — εἶναι ντετερμινιστικά<sup>9, 10</sup>.

Ἡ κορυφαία τους ἀξία ἐγκεῖται στὸ γεγονός πὼς ἡ μαθηματικὴ ἀποτίμηση τοῦ ἐσωτερικοῦ μηχανισμοῦ μιᾶς φυσικῆς διαδικασίας καὶ τῶν «ὁριακῶν συνθηκῶν της» (*boundary conditions*), ὅ,τι ὀρίζουμε ὡς «αἰτία», — ὅ,τι καθορίζουμε στὰ

7. A. N. Whitehead, «Science and the Modern World», The Macmillan Company, New York 1941.

8. A. Ἀϊνστάιν καὶ Α. Ἴνφελντ, «Ἡ Ἐξέλιξη τῶν Ἰδεῶν στὴ Φυσικὴ» — Ἡ Ἐπίδραση τῆς Φιλοσοφικῆς Ἰδέας στὴ Διαμόρφωση τῆς Φυσικῆς Θεωρίας. Μετφρ.: Σ. Κατσαῖτη. Ἐπιστημονικὸς Κόσμος, Ἀθήνα 1958.

9. Sir Arthur, Eddington, «New Pathways in Science», Ann Arbor Paperbacks — The University of Michigan Press 1959.

10. P. W. Bridgman, «The Logic of Modern Physics», Macmillan Paperbacks N.Y. 1961.

έφηρμοσμένα μαθηματικά ως *boundary value problems* — οδηγεί στην αλάνθαστη μαθηματική πρόβλεψη τῶν αποτελεσμάτων τῆς συμπεριφορᾶς καὶ τῆς θέσεως (*status*) τοῦ φυσικοῦ φαινομένου.

Αὐτὴ ἡ ἐπακριβῆς μαθηματικὴ «πρόγνωση» καὶ πρόβλεψη, ἢ *a priori* γνώση, τοῦ τί θὰ συμβεῖ αὔριο, ὅταν δοθεῖ καὶ καταγραφεῖ σήμερα ἡ φυσικὴ διαδικασία, ἀποτελεῖ πανίσχυρο ὄργανο καὶ σημαίνουσα πληροφόρηση ποῦ στηρίζει τὸν ὑπεύθυνο σχεδιασμό τῆς ἀνθρώπινης δράσεως, τὴ σύνθεση πρακτικοῦ προγραμματισμοῦ. Ἀποτελεῖ τοῦτο, τὸ θεμέλιο τῆς Προβληματικῆς τῶν Φυσικῶν Ἐπιστημῶν. Εἶναι μὰ πρόβαση τοῦ πνεύματος προμηθεϊκῆ<sup>11</sup>.

Ὁ μεγαλοφυῆς Laplace, ἀπὸ τοὺς μεγαλύτερους μαθηματικούς ὅλων τῶν αἰώνων, εἶπε πὼς μποροῦσε νὰ «διαγράψει» καὶ νὰ «προφητεύσει» ἐπακριβῶς τὸ μέλλον τοῦ φυσικοῦ κόσμου, ἐὰν τοῦ ἐδίδετο ἡ μαθηματικὴ περιγραφή μιᾶς φυσικῆς διαδικασίας (*physical process*) καὶ οἱ «ἀρχικὲς-ὄριακὲς» συνθῆκες (*initial-boundary conditions*) στὴ μορφή μιᾶς μερικῆς διαφορικῆς ἐξίσωσσεως (*partial differential equation*), σὲ χῶρο καὶ χρόνο.

Εἶναι ἀκριβῶς ἡ ἀτράνταχτη πίστη στὴ φυσικὴ αἰτιοκρατία καὶ νομοτέλεια ποῦ ἐνίσχυσε στὸν αἰῶνα μας, αἰῶνα τοῦ ἰντετερμινισμοῦ καὶ τῆς ἀπροσδιοριστίας, ὁ Ἀϊνστάϊν μὲ τὴν ὑπέροχη καὶ βαθυστόχαστη ρήση του: Ὁ Θεὸς δὲν παίζει ζάρια. .

Ἄς προστεθεῖ ἐδῶ πὼς στὸν αἰῶνα μας τὸ ντετερμινιστικὸ κοσμοεἶδωλο τῆς φυσικῆς τοῦ μακροκόσμου, συμπληρώθηκε ἀποφασιστικὰ καὶ ὀλοκληρώθηκε καίρια μὲ τὸ ἰντετερμινιστικὸ κοσμοεἶδωλο τῆς πυρηνικῆς φυσικῆς καὶ τῆς μοριακῆς βιολογίας τοῦ μικροκόσμου.

Τὸ κοσμοεἶδωλο τῆς ἀτομικῆς φυσικῆς εἶναι κατὰ κανόνα μὴ-αἰτιοκρατικό.

Περιγράφει φαινόμενα «τυχαϊακὰ» καὶ «στοχαστικὰ» (*random*) ποῦ ἀδυνατεῖ νὰ προσδιορίσει ἡ φυσικὴ αἰτιοκρατία. Καὶ στὸ πεδίο τῆς ὑδροδυναμικῆς ἔχουμε σήμερα φαινόμενα «στατιστικὰ» καὶ «στοχαστικὰ» ὅπως ἡ τυρβώδης ροὴ καὶ οἱ ἐφαρμογές της στὴν «διασπορά» μιᾶς οὐσίας (ρουπαντοῦ π.χ.) (*Turbulence and Turbulent Dispersion*)<sup>12</sup>.

Εἶναι φαινόμενα θεμελιωμένα στὴ Στατιστικὴ Μηχανικὴ καὶ Κβαντομηχανικὴ, δηλαδὴ στὴ θεωρία τῶν πιθανοτήτων καὶ *quanta* τοῦ M. Planck ὡς καὶ στὴν Ἀρχὴ τῆς Ἀπροσδιοριστίας» τοῦ Heisenberg (*Uncertainty Principle*). Ἡ ἐξέλιξη αὐτὴ στὴ φυσικὴ θεωρία, συνιστᾷ ἓνα γιγάντιο βῆμα στὸ χῶρο τῆς κοσμολογίας.

11. S. Toulmin, «Foresight and Understanding», Harper & Row, New York, 1961.

12. T. Von Karman, The Fundamentals of the Statistical Theory of Turbulence, J. Aeron. Science 4:131 1937b.

τῆς σύγχρονης θεωρητικῆς φυσικῆς καὶ τῶν «ὑπατομικῶν σωματιδίων» (subatomic particles). «Ἔτσι ἡ μεγαλοεργία τῆς σύγχρονης φυσικῆς συνεχίζεται στὴ δίδυμη πορεία τῆς «συμπληρωματικῆς» ἐρμηνείας τοῦ φυσικοῦ ἐπιστητοῦ, δηλ. ὡς φυσικὴ αἰτιοκρατία καὶ νομοτέλεια τοῦ ντετερμινιστικοῦ μοντέλου τοῦ μακροκόσμου καὶ ὡς ἰντετερμινιστικὸ «στατιστικὸ» μοντέλο τοῦ μακροκόσμου — θεμελιωμένου στὴν ἀρχὴ τῆς Ἀπροσδιοριστίας καὶ στὸ λογισμὸ τῶν Πιθανοτήτων. (J. Monod, «Ἡ Τύχη καὶ ἡ Ἀναγκαιότητα» — Ἐκδόσεις Λ. Ράππα — Ἀθῆνα 1970).

Τὸ μοντέλο τῆς παρούσης μελέτης καὶ ἔρευνας στηριγμένο στὴ νευτώνεια κλασικὴ μηχανικὴ εἶναι καθαρὰ ντετερμινιστικόν.

Ἡ «ὀργανικὴ» ἐσωτερικὴ διάταξη καὶ δομὴ του εἶναι ἡ ἐξῆς:

Ἡ ρύπανση τῶν ὑπογείων ὑδάτων συνδέεται μὲ τὸ ὅλο πλέγμα χρήσεων νεροῦ, ἦτοι οἰκιακῶν, βιομηχανικῶν ἀρδεύσεων καὶ γεωργικῶν καλλιεργειῶν-παραγωγῆς. Ἴδου μερικοὶ καίριοι στατιστικοὶ ἀριθμοί, ὑδατικῶν χρήσεων στὴν Ἀμερικὴ — ποὺ ἔχουν σχετικὰ ἀνάλογη ἐφαρμογὴ σὲ σύγχρονες βιομηχανικὲς χώρες ἀναπτυγμένες καὶ ἀναπτυσσόμενες ὅπως ἡ πατρίδα μας.

Στὴν Ἀμερικὴ εἴκοσι πέντε τοῖς ἑκατὸν (25 %) τοῦ συνόλου τῶν χρήσεων καθαροῦ νεροῦ προέρχεται ἀπὸ ὑπόγειους ὑδροταμιευτῆρες. Σαράντα τοῖς ἑκατὸν τῶν κατοίκων (40 %) χρησιμοποιοῦν τὰ ὑπόγεια ὕδατα γιὰ οἰκιακὲς χρήσεις. Ἡ χρῆση ὑπογείων ὑδάτων παρουσιάζει μιὰ ἀλματικὴ τάση αὐξήσεως (trend), ἦτοι ποσοστὸ εἴκοσι πέντε τοῖς ἑκατὸν (25 %) κάθε δέκα χρόνια. Ἡ χρῆση νεροῦ ὑπογείων ταμιευτῆρων διπλασιάστηκε τὰ τελευταῖα χρόνια στὴ Νέα Ἱερσέη καὶ σὲ πολλὲς ἄλλες πολιτεῖες τῆς Ἀμερικῆς.

Ἡ Πολιτεία τῆς Νέας Ἱερσέης — ὅπου ἔλαβε χώραν ἡ παρούσα μελέτη — εἶναι ἰδιαίτερα «εὐαίσθητη» καὶ στενὰ συνδεδεμένη μὲ τὰ ὑπόγεια ὑδατικὰ ἀποθέματα, γιὰτις ποσοστὸ 50 % πενήντα τοῖς ἑκατὸν περίπου τοῦ ποσίου νεροῦ προέρχεται ἀπὸ ὑπόγειους ὑδροταμιευτῆρες.

Ἐνδεχομένη ρύπανσή τους συνιστᾷ ἐμπράγματι ἀπειλὴ κατὰ τῆς υἱείας καὶ τῆς ζωῆς τῶν κατοίκων καὶ τῶν οἰκοσυστημάτων τῆς Πολιτείας. Καὶ ἡ ρύπανση τῶν ὑπογείων ὑδάτων προέρχεται ἀπὸ πλεῖστες πηγὲς συγκεντρώσεων ρυπαντῶν. Εἶναι οἱ ρυπάνσεις ἀπὸ τὰ βιομηχανικὰ λύματα, τὰ οἰκιακὰ ἀπόβλητα, τὰ γεωργικὰ φάρμακα, λιπάσματα καὶ παρασιτοκτόνα. Τὰ τελευταῖα εἴκοσι πέντε χρόνια προσετέθη μιὰ νέα μορφή, μιὰ ἀπειλητικὴ πηγὴ ρυπαντῶν. Εἶναι οἱ ἀποπλύσεις-διηθήσεις τοῦ καθαροῦ νεροῦ τῆς βροχῆς διὰ μέσου τοῦ «σώματος» καὶ τοῦ «χώρου» τῆς ὑγειονομικῆς ταφῆς τῶν στερεῶν ἀποβλήτων-σκουπιδιῶν (landfills). Ὀνομάζουμε τίς ἀποπλύσεις-διηθήσεις μέσω τῶν στερεῶν ἀποβλήτων, Leachates. Τὰ λύματα τῆς νέας αὐτῆς μορφῆς καὶ τάξεως εἶναι βαρύτερα ρυπανόμενα ἀπὸ τοξικὲς οὐσίες,

βαρέα μέταλλα και μη βιοχημικά και βιολογικά αποδομούμενες (non-biodegradable) σύνθετες οργανικές ενώσεις, κατά ένα σοβαρό ποσοστό καρκινογόνες. Το καθαρό νερό τής βροχής, όταν περάσει από τους χώρους αποθέσεων των στερεών αποβλήτων, μετατρέπεται σε σοβαρό ρυπαντή μεγαλύτερης ή ίσης ρυπαντικής ισχύος με εκείνη των λυμάτων των υπονόμων. Χρήση υπογείων υδάτων μολυνθέντων με τις αποπλύσεις —leachates— των landfills προξενεί όχι λίγες φορές σοβαρή ζάλη, πυρετό και σοβαρή άδιαθεσία, σπασμούς ή τύφλωση — αν υπάρχει μόλυνση βαρέων μετάλλων — κυάνωση βρεφών (από νιτρικές ουσίες λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων) και ακόμη καρκίνο του στομάχου, τής μήτρας, του έντερικου συστήματος και των νεφρών — τις περισσότερες φορές θανατηφόρο.

Σε πρόσφατη έκθεση τής Έπιτηρείας Προστασίας Περιβάλλοντος τής Νέας Ίερσέης με τίτλο «Toxics in Groundwater and Cancer Mortality Trends 1950 - 1975» αναφέρεται πώς σε ένα τέταρτο αιώνας ή αύξηση μερικῶν ἐκ τῶν ὡς ἄνω μνημονευθεισῶν καρκινικῶν παθήσεων, ἦταν περίπου εἴκοσι τοῖς ἑκατὸν (20 %) μεγαλύτερη τοῦ μέσου ὅρου τῶν περιπτώσεων καρκίνου πού ἔλαβαν χώραν σὲ ὅποια-δήποτε ἄλλη πολιτεία τῶν Ἡνωμένων Πολιτειῶν. Πιθανολογεῖται πὼς πέραν τῶν ἄλλων αἰτίων, «ὕποβοθητικῶν» των καρκινογενῶν παθήσεων πού ἔχει ἡ Νέα Ίερσέη — πού ἔρχεται σχεδὸν πρώτη στὴν Ἀμερικὴ σὲ ἐγκαταστάσεις χημικῶν καὶ φαρμακευτικῶν βιομηχανιῶν μὲ μεγάλες ποσότητες χημικῶν καὶ τοξικῶν ἀποβλήτων — μιὰ σοβαρὴ καὶ ἴσως βασικὴ αἰτία εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν χώρων ἀποθέσεων καὶ θέσεων ἀπορρίψεως στερεῶν ἀποβλήτων καὶ ἡ ἐξ αὐτῶν σοβαρὴ μόλυνση τῶν ὑπογείων ὕδατικῶν ἀποθεμάτων ποσίμου νεροῦ. Ὑπάρχουν σήμερα διακόσιες περίπου θέσεις landfills στὴν Πολιτεία τῆς Νέας Ίερσέης καὶ τετρακόσιες περίπου θέσεις στὴν Πολιτεία τῆς Νέας Ὑόρκης. Ἄς σημειωθεῖ πὼς σύμφωνα μὲ πρόσφατη έκθεση τοῦ Συμβουλίου Ποιότητος Περιβάλλοντος τοῦ ἔτους 1981 (The Council of Environmental Quality) σ' ὅλη τὴν Ἀμερικὴ ὁ ἀριθμὸς τῶν θέσεων ἀποθέσεων στερεῶν ἀποβλήτων εἶναι περίπου (77.700) ἑβδομήντα ἑπτὰ χιλιάδες ἑπτακόσιες.

Πρόκειται γιὰ πραγματικὰ τεχνητὰ βουνὰ σκουπιδιῶν. Ἐκεῖ ἀπορρίπτονται κάθε χρόνο, πέντε περίπου δισεκατομμύρια τόνοι (5 billion tons per year) στερεῶν ἀποβλήτων — συμπεριλαμβανομένων καὶ μεγάλων ποσοτήτων ὑγρῶν χημικῶν — βιομηχανικῶν ἀποβλήτων πού δὲν παροχετεύονται στὰ δίκτυα ὑπονόμων, λόγῳ ὑψηλῆς τοξικότητος. Ποσοστὸ (58 %) πενήντα ὀκτῶ τοῖς ἑκατὸν τῶν ὡς ἄνω ἀποβλήτων εἶναι καρκινογόνα. Ποσοστὸ ἑβδομήντα τοῖς ἑκατὸν (70 %) τοῦ συνόλου τῶν θέσεων ἀπορρίψεως στερεῶν ἀποβλήτων ἔχουν κατασκευασθεῖ χωρὶς τις προδιαγραφές καὶ τὴ μεθοδολογία συγκεντρώσεως τῶν διηθουμένων λυμάτων καὶ τὴν τεχνικὴ προδιαγραφή κατασκευῆς εἰδικοῦ προστατευτικοῦ στρώματος στὴ βάση

τοῦ χώρου ἀπορρίψεως-Landfill. Ἡ παροῦσα μελέτη μὲ τὰ ἀναλυτικὰ καὶ πειραματικὰ ἀποτελέσματα καθόρισε: (α) τὴν τεχνολογία, γεωμετρία καὶ γεωλογικὴ σύσταση τοῦ μὴ διαπερατοῦ ἀργιλλικοῦ στρώματος στὴ βάση-θεμέλιο τοῦ χώρου ἀποθέσεως τῶν στερεῶν ἀποβλήτων (β) τὸν ὄγκο καὶ τὴν ποιοτικὴ σύνθεση τῶν λυμάτων διηθήσεως πρὸς συγκεντρώνονται στὴ βάση τοῦ Landfill γιὰ χημικὸ-βιολογικὸ καθαρισμὸ, ἀποτρεπομένης οὕτω τῆς διεισδύσεως λυμάτων βεβαρυνμένων μὲ σύνθετες τοξικὲς καὶ ὀργανικὲς οὐσίες ἄνθρακος, ἀζώτου, φωσφόρου, ἀμμωνιακῶν ἀλάτων καὶ βαρέων μετάλλων, στὸν ὑπόγειο ὑδροφόρο ὀρίζοντα. Ἄς τονισθεῖ ἐδῶ, πὼς ἡ ρύπανση-μόλυνση τῶν ὑπογείων ὑδάτων εἶναι μιὰ σοβαρὴ-καίρια ἀνατρεπτικὴ περίπτωσις οἰκολογικῆς διαταραχῆς καὶ ἀνισορροπίας. Γιατὶ εἶναι ἐξαιρετικὰ δυσχερὴς, ἂν μὴ ἀδύνατος, ὁ ὑγειονομικὸς καθαρισμὸς καὶ ἡ οἰκολογικὴ ἀποκατάστασις ρυπανθέντων ὑπογείων ταμιευτήρων, ἐνῶ εἶναι κατὰ κανόνα τεχνικῶς δυνατὴ καὶ οἰκονομικῶς ἐφικτὴ ἡ ὑγειονομικὴ ἀποκατάστασις ἐπιφανειακῶν ὑδατικῶν φορέων (ποταμῶν, λιμνῶν, ἀκτῶν κλπ) μὲ ὀρθὸ καὶ λυσιτελεῖ οἰκολογικὸ καὶ ὑγειονομικὸ προγραμματισμὸ. Στὶς ἐπιφάνειες ὑδατικῶν φορέων ἐλευθέρως ροῆς, ἡ δαψίλεια τοῦ ὀξυγόνου, ἡ ἐπάρκεια ἐλευθέρου ἀερισμοῦ καὶ ὁ ὑψηλὸς βαθμὸς τῆς «ἐντάσεως» (intensity) τῆς τυρβώδους ροῆς (turbulence), μίξεως καὶ διαχύσεως (mixing and diffusion) τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ὀξυγόνου, συνιστοῦν ἀποφασιστικὸς παράγοντες ταχείας ὀξυγονώσεως (oxygenation) καὶ ἐπέκεινα ὀξειδώσεως (oxidation) τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν καὶ ἀεροβίου (aerobic) «ὑγειονομικῆς ἀποκαταστάσεως». Τὰ ὑπόγεια ὕδατα δὲν «ἀποκαθίστανται» βιοχημικῶς, βιολογικῶς (καὶ ὑγειονομικῶς) γιατί τὸ ὀξυγόνο τῆς ἀτμοσφαιρῆς δὲν μπορεῖ εὐκόλως νὰ εἰσχωρήσει μέσῳ τῶν πόρων τοῦ ὑπεδάφους καὶ νὰ φτάσει στὰ μεγάλα βάθη τοῦ ὑδροφόρου ὀρίζοντος.

Ἔτσι ἡ σοβαρὴ ρύπανση-μόλυνση τῶν ὑπογείων ὑδροταμιευτήρων παραμένει ἄκρως δυσχερὲς πρόβλημα, μὲ τὴν παρουσία ἐκεῖ καὶ τὴ διάρκεια τῆς ρύπανσης ἐπὶ δεκαετίας. Ἡ ὑγειονομικὴ καὶ οἰκολογικὴ ἀποκατάστασις εἶναι ἐξαιρετικῶς βραδεῖα. Ἀπαιτεῖται, ὡς ἐκ τούτου ὑψηλὸς καὶ ἀκέραιος βαθμὸς τεχνικῆς ἐποπτείας (καὶ ὑπεύθυνης ἐπιστημονικῆς ἡγεσίας) γιὰ τὴν προληπτικὴ προστασία καὶ ἀποτροπὴ μολύνσεων-ρυπάνσεων ὑπογείων ὑδάτων.

Ἡ προληπτικὴ μέριμνα καὶ προστασία, εἶναι ἴσως ἡ μόνη «προστασία» τῶν ὑδάτων τῶν ὑπογείων ταμιευτήρων ἐφ' ὅσον τὰ «κατασταλτικὰ» καὶ ἐκ τῶν ὑστέρων μέτρα προστασίας εἶναι ἀλυσιτελεῖ καὶ κατὰ κανόνα ἀνεπαρκῆ.

Τῶν πραγμάτων οὕτως ἐχόντων, ἡ Πολιτεία τῆς Νέας Ἱερσέης ἀνέθεσε τὸ 1981 στὸ Κρατικὸ τῆς Πανεπιστήμιου Rutgers — καὶ εἰδικότερα στὴ Σχολὴ Πολιτικῶν καὶ Ὑγειονολόγων Μηχανικῶν — τὴ θεωρητικὴ καὶ πειραματικὴ μελέτη

τοῦ ὅλου προβλήματος καὶ τῆ χάραξη μεθοδολογίας καὶ τεχνικοῦ προγράμματος ἀποτροπῆς ρυπάνσεως ὑπογείων ὑδροταμιευτῆρων ἀπὸ λύματα «διηθήσεων» χώρων ἀποθέσεως στερεῶν ἀποβλήτων (landfills). Ἡ σύνθεση εἰδικῶν ἀριθμητικῶν σχήματος — προγράμματος ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστοῦ (algorithm-computer program) — καρποῦ μιᾶς δυσχεροῦς συλλογικῆς προσπάθειας — καὶ ἐργασίας «δοκιμῶν» καὶ «ἐπαληθεύσεων» — μιᾶς διετίας — ἀποτελεῖ ἓνα ἀπὸ τὰ κυριότερα ἐπιτεύγματα τῆς ἐρεῦνης. Ἡ διατεθεῖσα ἀπὸ τὴν Πολιτεία τῆς Νέας Ἰερσέης δαπάνη γιὰ περίοδο τριάντα περίπου μηνῶν ἦταν τῆς τάξεως τῶν (225,000) διακοσίων εἴκοσι πέντε χιλιάδων δολλαρίων. Ἐξι ἐρευνητὲς καὶ βοηθοὶ ἐργαστηρίου ἐργάστηκαν μαζί μου στὴν ομάδα ἐργασίας στὶς διάφορες φάσεις τῆς ἐρεῦνης (βοηθοὶ-εἰδικοὶ στὴ συλλογὴ δεδομένων καὶ ἐργαστηριακῶν μετρήσεων τῆς πειραματικῆς στήλης, προγραμματιστὲς ἠλεκτρονικῶν ὑπολογιστῶν, εἰδικοὶ ἐργαστηριακῶν χημικῶν ἀναλύσεων). (Δύο ἐκ τῶν συνεργατῶν μου ἦσαν Ἕλληνες: ὁ ἐπίκουρος καθηγητῆς τοῦ Rutgers δρ. Ἄλέξ. Δημητρακόπουλος καὶ ὁ βοηθὸς καθηγητῆς στὸ Stevens Institute of Technology δρ. Γεώργιος Κορφιάτης). Τὰ κύρια στάδια τῆς ἔρευνας ἦσαν: (α) ἡ μελέτη καὶ ὁ καθορισμὸς τῶν «ὑποθέσεων» τοῦ προβλήματος καὶ ἡ μαθηματικὴ δόμηση τοῦ ἀναλυτικοῦ μοντέλου ποῦ ἀπεικονίζει τὴ φυσικὴ πραγματικότητα. (β) Ἡ ἐπίλυση τῶν «μερικῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων» (μὴ γραμμικῶν) μὲ τὴν ἐπικουρία τῶν ἠλεκτρονικῶν ὑπολογιστῶν. Χρειάστηκαν ἐξήντα — καὶ πλέον — ὧρες ὑπολογισμῶν τοῦ ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστοῦ, ποῦ ἰσοδυναμοῦν σὲ ἐξήντα τοῦλάχιστον χρόνια ἀνθρώπινου μόχθου ἐνὸς πεπειραμένου μαθηματικοῦ. (γ) Ἡ κατασκευὴ τοῦ ἐργαστηριακοῦ μοντέλου, δηλ. τῆς πειραματικῆς στήλης, μὲ ὑλικὸ παρμένο ἀπὸ χώρο ἀποθέσεως στερεῶν ἀποβλήτων — ποῦ ἀντιπροσωπεύει «αὐθεντικὰ» τὸ φυσικὸ χῶρο. (δ) Ὁ ὑπολογισμὸς καὶ ἡ σχεδίαση τοῦ ἐντιπροσωπευτικοῦ στρώματος Landfill, ὁ καθορισμὸς μεθόδου συλλογῆς διηθουμένων λυμάτων, ἡ ποσοτικὴ τους ἀποτίμηση καὶ ἡ ποιοτικὴ τους ἀνάλυση στὸ ἐργαστήριον. Τέλος ἡ σύγκριση καὶ ἡ ἐπαλήθευση τῶν θεωρητικῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ μαθηματικοῦ μοντέλου μὲ τὶς μετρήσεις τῆς πειραματικῆς στήλης — ὅ,τι συνιστᾷ ἐπιστημονικὸ ἔπαθλο γιὰ τὸν ἐρευνητὴ καὶ ὅ,τι εἶναι ἡ καρδιὰ τῆς μελέτης καὶ ἐρευνητικῆς προσπάθειας<sup>13, 14</sup>.

13. "Landfill and Groundwater Modeling Volume I: Final report" by Drs. E. L. Bourodinos, A. C. Demetracopoulos and E. G. Nawy and Ms. L. Sehayek, June 1984, Rutgers University.

14. "Landfill and Groundwater Modeling Volume II: User's Manual" by Drs. E. L. Bourodinos, A. C. Demetracopoulos and E. G. Nawy and Ms. L. Sehayek, June 1984, Rutgers University.



Ἡ ὥρα τῆς ἐπαληθεύσεως τοῦ μοντέλου (*model verification*) ἔρχεται στο τέλος ἐμπνευστική καὶ καταξιώτικη γιὰ νὰ ὀδηγήσει τὴν ἔρευνα — πὺν δὲν τερματίζεται ποτὲ — σὲ νέους δρόμους καὶ στόχους. Τὸ κάθε τέρμα στὴ μελέτη καὶ ἔρευνα τοῦ φυσικοῦ ἐπιστητοῦ ἀποτελεῖ καὶ μιὰ νέα φωτεινὴ καὶ ὑποσχετικὴ ἀπαρχὴ ἐπιστημονικῆς πορείας.

Ἡ συστηματικὴ ταξινομησι καὶ ὀριοθέτησι τῶν εἰδικῶν σταδίων τῆς ἐρεύνης, πὺν ἀκολουθεῖ, παρουσιάζει τὴν «ἐπὶ μέρους» καὶ τὴν «καθ' ὅλου» διάταξι τῆς ἐργασίας, ὅπου διαγράφεται ἡ Ἀνάλυσι (ἢ «θέα» τῆς Θεωρίας) τοῦ «γενικοῦ» προβλήματος μέσα στο «εἰδικό» του πλαίσιο. (*The General within the Specific*).

#### ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

#### Ρύπανση Ὑπογείων Ὑδάτων — Groundwater Pollution:

Ἐνα Μαθηματικὸ Μοντέλο Πρόβλεψι καὶ Ἐλέγχου.

Δομὴ τοῦ Προβλήματος.

Ἐδαφομηχανικὴ-Ὑδρογεωλογία-Ὑδροδυναμικὴ.

- A. Ἐδαφομηχανικὴ Κλίμαξ Μεγέθους πόρων  
(Porous Medium Scales of Soil).
- B. Ὑδρογεωλογία: Δίατα, Κίνησι καὶ Μεταφορὰ Ρυπαντῶν εἰς Ὑπογείους Ὑδροταμιευτῆρες  
(Hydrogeology: Contaminant Travel, Movement and Transport within an Aquifer).
- Γ. Ὑδροδυναμικὴ Θεωρία καὶ Ἐφαρμογὴ Ροῆς Ὑπογείων Ὑδάτων: Εἰδικὴ περιπτώσι: Ροὴ ρυπαντῶν εἰς χώρους Ἀπορρίψεως Στερεῶν Ἀποβλήτων  
(Hydrodynamics-Seepage Flows of Leachates from Landfills).

#### A. Ἐδαφομηχανικὴ

- α. Στατιστικὸς Καθορισμὸς τοῦ πορώδους τοῦ ἐδαφικοῦ ἴστοῦ (Statistical Evaluation of Porosity).  
Ἐπιλογὴ Ἀντιπροσωπευτικοῦ δείγματος Ὑπεδάφους (Soil Representative-Elementary Sample Volume).  
Ἀπὸ τὴν ἀσυνεχῆ ὑφή τοῦ σώματος τοῦ ὑπεδάφους (pores and grains: πόροι καὶ κόκκοι.) στὴ μέση (average) συνεχῆ ἀποτίμησι μορφῆς καὶ δομῆς του.
- β. Ἱεράρχησι δομῆς ἐδαφικοῦ ἴστοῦ τῶν πόρων τοῦ ὑπεδάφους: Κλίμακες μεγέθους: (I) Μεγασκοπικὴ (megascopic scale), (ii) Μακροσκοπικὴ

(Macroscopic scale), (iii) Μικροσκοπική (Microscopic), (iv) Μοριακή (molecular scale) — Χρήση Μικροσκοπίου.

## Β. Ύδρογεωλογία—Γραμμάι Ροής (Flow Pathways)

### Στόχοι Έρευνας :

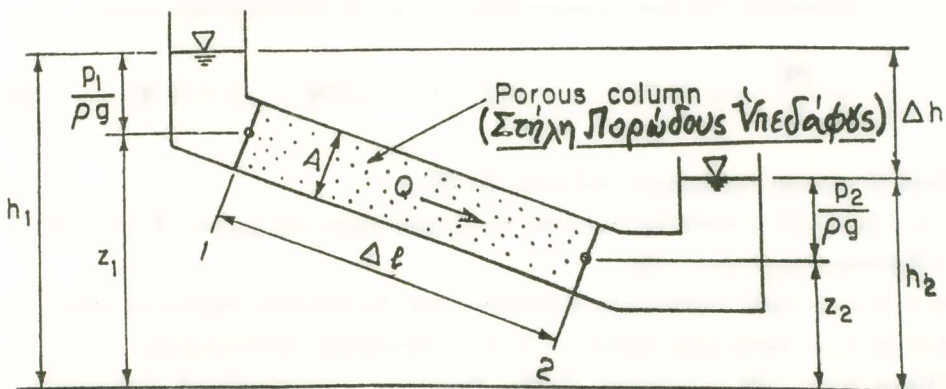
- α. Θεωρητική ανάλυση και Έργαστηριακός Πειραματισμός τῆς Ύδρογεωλογικῆς διαδικασίας.
- β. Μεταφορά και «μετανάστευση» Ρυπαντῶν ὡς μακροσκοπικό και μικροσκοπικό φαινόμενο. (Contaminant Movement and Migration in Soil).
- γ. Γραμμάι Έρπουσῶν Ροῶν ὑπεδάφους. (Creeping Motion Pathways).

### Μεθοδολογία

- α. Προγραμματισμός Μαθηματικῆς Έρευνας. (Mathematical Model).
- β. Σχεδιασμός δικτύων συλλογῆς ἀντιπροσωπευτικῶν δειγμάτων ὑπεδάφους — Έρευνα πεδίου και ἐργαστηρίου (Field — Laboratory Research).
- γ. Πειραματικά Μετρήσεις — Ποσοτικά και Ποιοτικά Ἀποτιμήσεις και ἀναλύσεις — Έπαλήθευση Μοντέλου. (Experimental Measurements — Laboratory Analysis and Evaluation — Model Verification).

## Γ. Ύδροδυναμική Θεωρία Ροής — Πείραμα Darcy

- α. Εἰδική Παροχή Ροῆς  $q$ : Darcy Flux - Ἴσοτροπικό Μέσο.



Έργαστηριακὸ Πείραμα Ροῆς Darcy.

$$\beta. \text{ Ειδική Παροχή Ροής } q = \frac{Q}{\Delta A} = - \left( \frac{\kappa}{\mu} \right) \gamma \frac{dh}{dl} = - K \nabla h$$

όπου:

$$K = \frac{\kappa \gamma}{\mu} = \text{Ύδραυλική Ἀγωγιμότης (Hydraulic Conductivity).}$$

$\gamma = \rho g = \text{Εἰδικὸ βάρος ὑγροῦ (Specific Weight).}$

$\mu = \text{ἰξῶδες ὑγροῦ (Fluid Viscosity).}$

$\rho = \text{πυκνότης ὑγροῦ, } g = \text{ἐπιτάχυνση βαρύτητος}$

$\kappa = \text{ὑδραυλικὴ διαπερατότης (Hydraulic or Intrinsic Permeability).}$

$\gamma. \text{ Γενικευμένος Νόμος Darcy}$

*Ροὴ σὲ Ἀνισοτροπικὸ Μέσο Ὑπεδάφους.*

*Generalized Darcy's Law: Μεταβλητὴ K(x,y,z)*

$$\begin{pmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial h}{\partial y} \\ \frac{\partial h}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\delta. \text{ Ἐξίσωση ἐπιταχυνομένης στρωματικῆς ροῆς ἰξῶδους συμπιεστοῦ ὑγροῦ}$   
(Laminar Viscous Compressible Flow) σὲ διανυσματικὴ μορφή:

$$\rho \frac{d\mathbf{V}}{dt} + \rho (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = - \nabla \Omega - \nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} + \mu/3 \nabla (\nabla \cdot \mathbf{V}) \quad (3)$$

όπου οἱ φυσικὲς παράμετροι ὀρίζονται ὡς ἐξῆς:

$\rho = \rho(x, y, x, t) = \text{πυκνότης ὑγροῦ ὡς συνάρτηση χώρου καὶ χρόνου. } \mathbf{V} (u, v, w) = \text{διάνυσμα ταχύτητος ροῆς.}$

$u, v, w = \text{οἱ τρεῖς καρτεσιανὲς συνιστῶσες τοῦ διανύσματος ταχύτητος ροῆς.}$

$p(x, y, x) = \text{πίεση ροῆς πεδίου; } x, y, x = \text{καρτεσιανὲς συντεταγμῆνες.}$

$\Omega(x, y, x) = -gh = \text{Δυναμικὸ Πεδίον βαρύτητος (Gravitational Potential).}$

$g = \text{ἐπιτάχυνση πεδίου βαρύτητος; } \mu = \text{ἰξῶδες ὑγροῦ.}$

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} = (\text{«Διάνυσμα»} - \text{Del Operator})$$

3. Ήξιωση Έρπουσών Ροών ύπεδάφους, ίξώδους και άσυμπιέστου ύγροϋ με μηδενική έπιτάχυνση (Zero Inertia forces). Creeping Flows.

$$\Delta(p + \gamma h) = \mu \nabla^2 \mathbf{V} \quad (4)$$

Ή έξιωση (4) έκφράζει τή μαθηματική μορφή τής δυναμικής ίσορροπίας τών έξωτερικών δυνάμεων τής βαρύτητας (gravity) τής πιέσεως (pressure) και τοϋ ίξώδους (viscous shear forces) στο πεδίο ροής.

#### Δ. Δόμηση Μαθηματικοϋ Μοντέλου

1. Ύπέδαφος ίσοτροπικό και όμοιογενές πλήρως διαβρεγμένο — Εϊδική Παροχή Ροής (Flux through isotropic and homogeneous soil medium *fully* saturated) Darcy's Law.

$$\mathbf{q} = -K(\theta) \nabla \left( \frac{p}{\gamma} + z \right) \quad (5)$$

2. Ύπέδαφος ίσοτροπικό και όμοιογενές μερικώς διαβρεγμένο — Ύπόθεση Ίσχϋος τοϋ Νόμου Darcy — (Βεβαιωθείσα άπό τά άποτελέσματα τής παρούσης έρεύνης) ώς έκφράζεται άπό τήν έξιωση (5) με τις παραμέτρους:  $\mathbf{q}$  = όγκομετρική παροχή (flux) μέσω επιφανείας έλέγχου (Volumetric Flux per bulk area—Control Volume).
3. Ήξιωση Συνεχείας: Άρχή διατηρήσεως τής Μάζας (Continuity Equation—Mass Balance and Mass Conservation Law)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho n S) + \text{div} (\rho \mathbf{q}) - Q_s = 0 \quad (6)$$

με τις φυσικές παραμέτρους:

$Q_s$  = πηγές ή «καταβόθρες» μάζης στο πεδίο ροής (Source or Sink term)

$\theta = nS$  = περιεχομένη ποσότης ύγρασίας (ύδατος) ύπεδάφους (Moisture Content).

$S$  = όγκος ύδατος διαβροχής (Saturation)

$n$  = λόγος τοϋ όγκου τών κενών (μεταξύ τών πόρων) προς τόν συνολικό όγκο έδάφους (control volume)

Ἡ ἐξίσωση (6) στὴν περίπτωση ροῆς τριῶν διαστάσεων (three dimensional) ἀσυμπιέστου ὑγροῦ σὲ ὑπέδαφος μὴ πλήρως διαβρεγμένο:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \operatorname{div}(\mathbf{q}) - Q_s = 0 \quad (7)$$

4. Ὑπόθεση ροῆς ὕδατος (ὕγρασίας) σὲ ὑπέδαφος μὴ πλήρως διαβρεγμένο (unsaturated): Συνιστᾶ εἰδικὴ μορφή ροῆς δύο ὑγρῶν, ὕδατος καὶ ἀέρος χωρὶς δυνατότητα μίξεως (immiscible fluids) — μὲ τὴν παρουσία πιέσεως (ἐντάσεως ἢ ἀναρροφήσεως = tension or suction) τῶν τριχοειδῶν ἀγγείων, μεταβαλλομένης μὲ τὸ μέγεθος τῆς καμπυλότητος τῶν μικροσκοπικῶν μηνίσκων τοῦ κενοῦ χώρου τῶν πόρων τοῦ ὑπεδάφους. Μὲ τὴν ἀνωτέρω ὑδροδυναμικὴ ὑπόθεση — ἀδιάβλητη πειραματικὰ καὶ ἀναλυτικὰ — ἡ ἐξίσωση ροῆς μιᾶς διαστάσεως κατακορύφου κατευθύνσεως (One dimensional vertical) μέσῳ τοῦ χώρου (τοῦ ὑπεδάφους) ἀποθέσεως στερεῶν ἀποβλήτων (landfill) εἶναι:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - Q_s = 0 \quad \left( \begin{array}{c} \text{Mathematical} \\ \text{Model} \end{array} \right) \quad (8)$$

ὅπου:

$$D(\theta) = -K(\theta) \frac{d\psi}{d\theta} = \text{Συντελεστής Διαχύσεως (Diffusivity Coefficient)}$$

$$\Psi = \text{ὕψος (ἐνεργειακὸ) ἀναρροφήσεως (πιεζομετρικὸ), (Suction — Tension Head)}$$

Ἡ ροὴ ὑγρασίας (moisture flux) δίδεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση

$$D(\theta) = -K(\theta) \frac{d\psi}{d\theta} \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (9)$$

Ὁ συναρτησιακὸς ἐργαστηριακὸς («ἐμπειρικὸς») συσχετισμὸς τοῦ συντελεστοῦ διαχύσεως δίδεται ἀπὸ τὸν Klute:

$$D = K(\theta) \frac{\Psi_s}{\theta_s} b \left( \frac{\theta_s}{\theta} \right)^{b+1} \quad (10)$$

ὅπου:

$$\Psi_s = \text{ὕψος (ἐνεργειακὸ) ἀναρροφήσεως πλήρους διαβροχῆς ὑπεδάφους (Saturation suction head)}$$

$\theta_s$  = περιεχόμενο υγρασίας πλήρους διαβροχής  
(Saturation Moisture Content)

$b$  = εμπειρική, σταθερά, προσδιοριζόμενη από τη μορφή-δομή του υπεδάφους.

5. *Όριακαί Συνθήκαι*: Καθοριστικάί του Μαθηματικού Μοντέλου (Boundary Conditions and Boundary Value Problem — Model)

- (i) Ἡ ροή υγρασίας εἶναι μεγέθους ἴσου μέ τή καθαρή ἔνταση βροχῆς (Net Precipitation Intensity) ὅταν ἡ υγρασία τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἄνω στρώματος τοῦ ἐδάφους ἢ τοῦ ἐργαστηριακοῦ μοντέλου εἶναι μικρότερη ἀπό τὸ μέγεθος τῆς υγρασίας (ὑδατος) διαβροχῆς. Ἡ μαθηματικὴ ἔκφραση εἶναι στὴ θέση:

$$z = 0 \rightarrow P = K(\theta) - D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \text{ καὶ } \frac{\partial \theta}{\partial z} \leq 0; 0 \leq t \leq t_p \quad (11)$$

ὅπου:

$P$  = ἔνταση βροχῆς (Precipitation Intensity)

$t_p$  = Χρόνος ἀπαιτούμενος γιὰ τὴ πλήρη διαβροχὴ τῆς ἐπιφανείας

- (ii) Ὄταν ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ἐργαστηριακοῦ μοντέλου ἢ τοῦ χώρου στερεῶν ἀποβλήτων — εἶναι πλήρως διαβρεγμένη (fully saturated) καὶ ἡ βροχὴ (τεχνητὴ ἐργαστηριακὴ ἢ πραγματικὴ) συνεχίζεται ἢ ἐπιφανειακὴ συνθήκη, ποὺ ἐκφράζεται μαθηματικῶς στὴ διττὴ μορφή:

$$(1) \text{ Ἐὰν } P \geq K_s; z = 0, \theta = \theta_s \text{ καὶ } \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0; t_p < t < t_e \quad (12)$$

ὅπου  $K_s$  = Ὑδραυλικὴ ἀγωγιμότης πλήρους διαβροχῆς  
(Saturated Hydraulic Conductivity)

$t_e$  = ἡ χρονικὴ στιγμή κατὰ τὴν ὁποία, ἡ καθαρή (net) ποσότης τῆς βροχῆς γίνεται μικρότερη τῆς  $K_s$

Ἡ συνθήκη (12) σημαίνει πρακτικὰ ὅτι ἡ υγρασία στὴν ἐπιφάνεια εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν ἔνταση τῆς βροχῆς.

(2) Ἐὰν  $P < K_s \rightarrow$  τότε ἀμέσως λαμβάνει χώραν ἡ διαδικασία ἀναδιανομῆς (redistribution) τῆς τεχνητῆς βροχῆς τοῦ ἐργαστηριακοῦ μοντέλου — ποὺ ἀντιπροσωπεύει τὴ φυσικὴ κατάσταση βροχῆς στὸ χῶρο τοῦ landfill.

(iii) Ἡ ὀριακὴ συνθήκη ροῆς τοῦ κατωτάτου τοῦ ἐργαστηριακοῦ μοντέλου ἢ τοῦ ἀδιαπεράστου στρώματος-πυθμένους τοῦ χώρου τῶν στερεῶν ἀποβλήτων ποὺ ἐμποδίζει τὴ ροὴ τῶν λυμάτων (leachate) καὶ ἀποτρέπει τὴ ρύ-

πανση τῶν ὑπογείων ὑδάτων — ἐνῶ διευκολύνει τὴν συλλογὴν καὶ τὸν βιολογικὸ καθαρισμὸ τους.— (Ἀδιαπέραστο Στρῶμα: Ἄργιλλος)

$$\text{Μαθηματικὴ διατύπωση: στὴ θέση: } z = z_r, \frac{d\theta}{dz} = 0 \quad (13)$$

ὅπου  $z_r$  = τὸ πάχος τοῦ σώματος τοῦ ὑπεδάφους  
(total landfill thickness)

(iv) Ἀρχικὴ (χρονικὴ) συνθήκη (Initial Condition)

$$\text{σὲ χρονικὴ στιγμή } t = 0; \theta(x,0) = \theta_{\text{init}(z)}; 0 \leq z \leq z_r \quad (14)$$

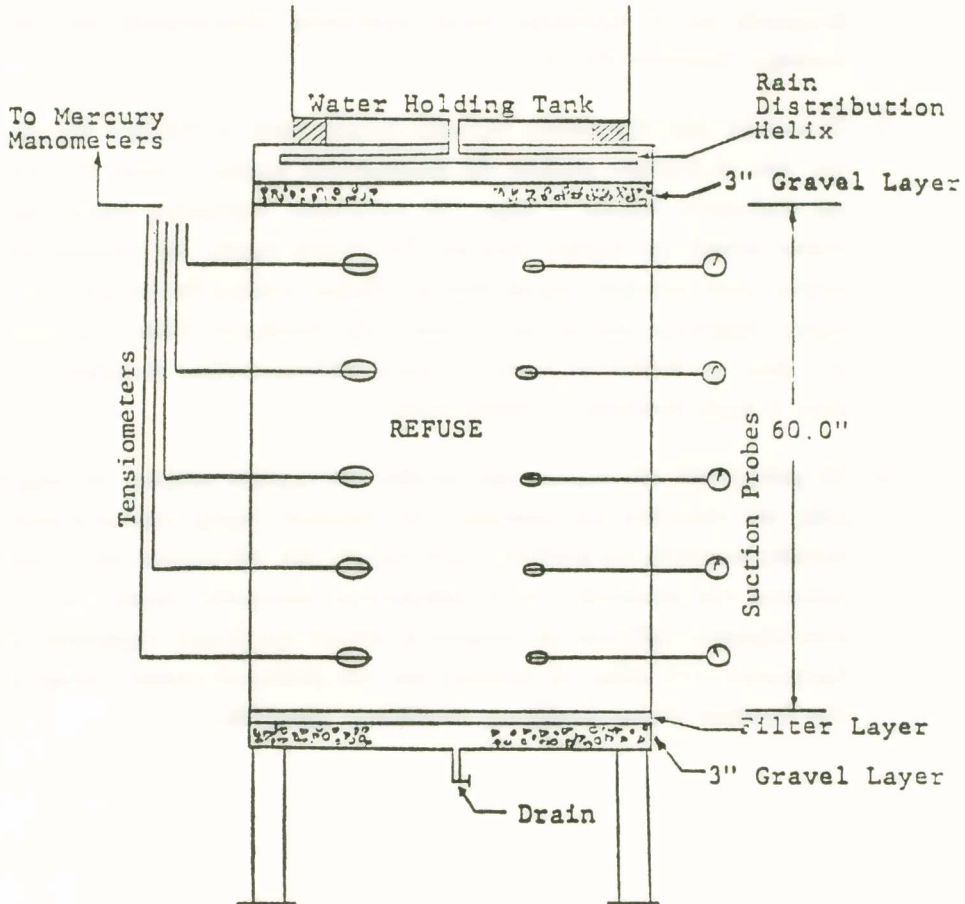
Ἡ ἐξίσωση (8) μὲ τις ὡς ἄνω ὀριακὲς συνθήκες (i), (ii), (iii) καὶ (iv) ἐκφράζει πλήρως τὸ μαθηματικὸ μοντέλο τῆς παρουσίας ἔρρευνας. Εἶναι μερικὴ διαφορικὴ ἐξίσωση μὴ γραμμικὴ (partial non-linear differential equation) μὲ πολύπλοκες ὀριακὲς συνθήκες καὶ ὡς ἐκ τούτου θεωρητικῶς ἄλυτη μὲ τις κλασσικὲς μεθόδους τῶν ἐφηρμοσμένων μαθηματικῶν. Ἡ λύση σήμερα ἐπιτυγχάνεται μὲ τὸν «μετασχηματισμὸ» τῆς, σὲ ἀριθμητικὸ σχῆμα «πεπερασμένων διαφορῶν» καὶ τὴ χρήση ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστοῦ ὑψηλῆς ταχύτητος καὶ ἀκριβείας (Finite differences). Ὁ ἀπαιτηθεὶς χρόνος ὑπολογιστοῦ στὴν παρῶσα ἔρευνα ἦταν περίπου (50) πενήντα ὥρες (χρόνος μεγάλος στὴν κλίμακα τοῦ ὑπολογιστοῦ) ποὺ ἰσοδυναμεῖ σὲ χρόνο πενήντα καὶ πλέον χρόνων περίπου ἀνθρώπινης προσπάθειας — ὅχι πάντα ἀλάθητης καὶ ἀκριβοῦς ὡς ἐκείνη τοῦ ὑπολογιστοῦ. Γιὰ τὸν κόμβο (i) τοῦ χώρου τοῦ μοντέλου ἡ ἐξίσωση (8) στὸ ἀριθμητικὸ τῆς σχῆμα εἶναι:

$$\left( -\frac{1}{\Delta z} D_{i-1/2}^{x+1} \right) \theta_{i-1}^{x+1} + \left( \frac{1}{\Delta z} D_{i+1/2}^{x+1} + \frac{1}{\Delta z} D_{i-1/2}^{x+1} + \frac{\Delta z}{\Delta t} \right) \theta_i^{x+1} + \left( -\frac{1}{\Delta z} D_{i+1/2}^{x+1} \right) \theta_{i+1}^{x+1} = \frac{\Delta z}{\Delta t} \theta_i^x - K_{i+1/2}^{x+1} + K_{i-1/2}^{x+1} \quad (15)$$

Ἡ ἐξίσωση συνεχείας (Συντήρηση Μάζας) στὶς κοινὲς ἐπιφάνειες τῶν ἐπαλλήλων στρωμάτων ὑπεδάφους (interface) δίδεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση τοῦ συντελεστοῦ διαχύσεως καὶ τῆς ὑδραυλικῆς ἀγωγιμότητος.

$$D_{i+1/2} = 2 \frac{D_i D_{i+1}}{D_i + D_{i+1}} \quad (16a) \quad \text{καὶ} \quad K_{i+1/2} = \frac{K_i D_{i+1} + K_{i+1} D_i}{D_i + D_{i+1}} \quad (16b)$$

## Πειραματικό Έργαστηριακό Μοντέλο - LANDFILL



Σχηματική Παράσταση Πειραματικής Στήλης

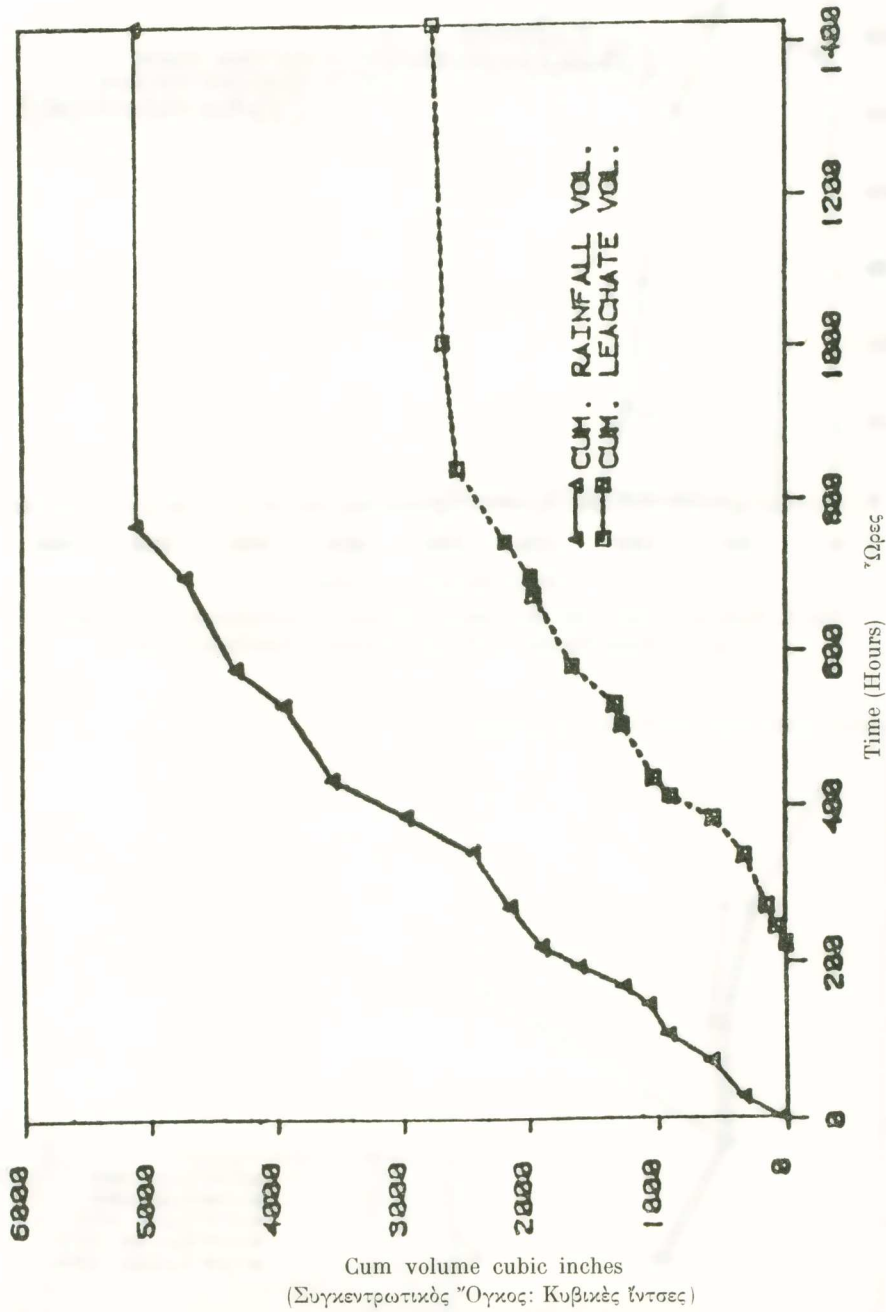
## Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μαθηματικού και Έργαστηριακού Μοντέλου — Πειραματικής στήλης

1. Έργαστηριακές μετρήσεις (με ειδικά όργανα ακριβείας) έσωτερικών τάσεων στην Πειραματική στήλη του ύλικου των στερεών αποβλήτων, τής ποιότητας και ποσότητας των λυμάτων έκροης συνιστούν και προσδιορίζουν την εικόνα του πειραματικού μοντέλου. Τα αποτελέσματα έρευνας «ήλεγχθησαν» — και «ήλεγξαν» — με τα θεωρητικά αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου.

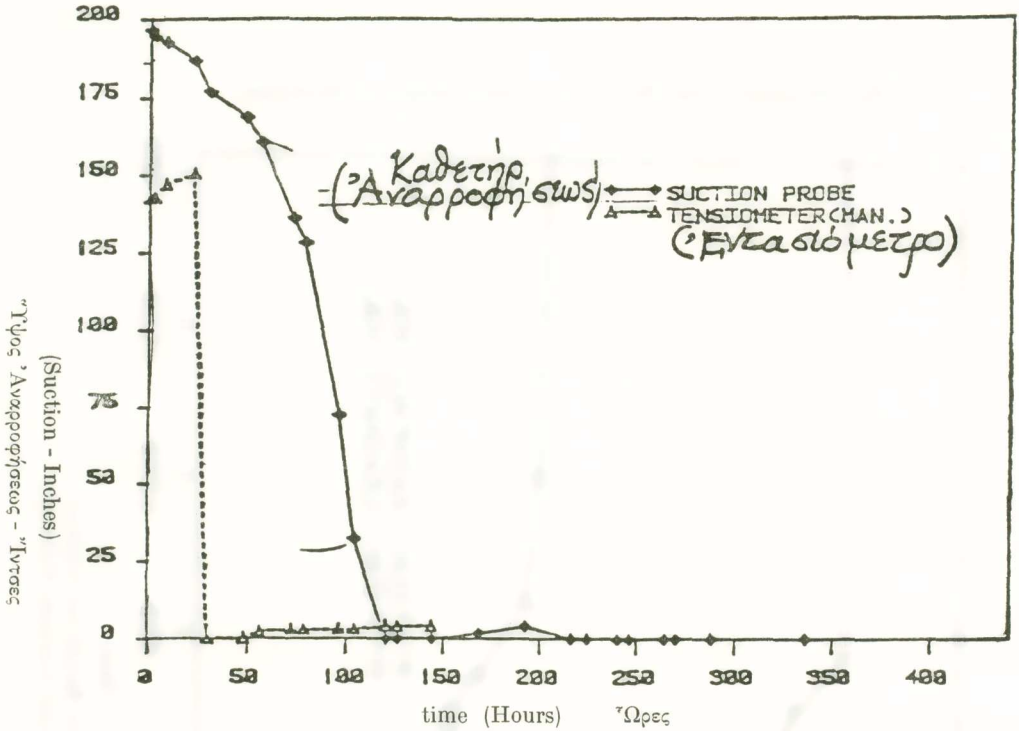


2. Ἡ σύγκριση καὶ ἡ ἀκρίβεια ἦταν ἄκρως ἐπιτυχής. Ἡ ἐπαλήθευση τοῦ μοντέλου (*Model Verification*) ἦταν στέρεη καὶ ἀσφαλής γιὰ τὶς πρακτικὲς ἐφαρμογὲς καὶ τὸ σχεδιασμὸ ἔργων προστασίας (ὕγειονομικῆς καὶ οἰκολογικῆς) ὑπογείων ὑδάτων.
3. Τὸ καθαρὸ νερὸ τῆς εἰδικῆς τεχνητῆς βροχῆς κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ροῆς του, ἀπὸ τὸ ἀνώτατο στρώμα τῆς πειραματικῆς στήλης — ὑλικὸ σὲ μορφή καὶ διαδικασία σήψεως — μέχρι τοῦ κατωτέρου στρώματος ἐκροῆς ὑφίσταται συνεχῆ καὶ σοβαρὴ ρύπανση. Τὰ λύματα ἐκροῆς τῆς πειραματικῆς στήλης μετὰ λυσιτελεῖ χημικὸ ἔλεγχο, ἔδειξαν στάθμη-δείκτη ρυπαντικῆς ἰσχύος, ὑψηλότερη ἐκείνης τῶν λυμάτων τῶν ὑπονόμων. Εἶναι οἱ ρυπαντὲς ποὺ ρέουν καὶ διηθοῦνται στοὺς ὑπογείους ὑδροταμιευτῆρες (aquifers) ποὺ εἶναι ἡ πηγὴ ἀντλήσεως ποσίμου νεροῦ.
4. Τὸ μαθηματικὸ καὶ πειραματικὸ μοντέλο καταγράφει πλήρως τὴ μορφή ροῆς, τὴν ποσότητα καὶ ποιότητα τῶν λυμάτων ἐκροῆς γιὰ μιὰ *a priori* δοσμένη ποσότητα καὶ ποιότητα νεροῦ εἰσροῆς, (iii) τὴν τεχνικὴ τῆς συγκεντρώσεως τῶν ρυπαντῶν, καὶ τὴ μεθοδολογία ἀποτροπῆς διεισδύσεως τῶν ὑδροφόρο ὀρίζοντα μὲ κατασκευὴ εἰδικοῦ ἀργιλλικοῦ στρώματος μὴ διαπερατοῦ, (iv) τέλος τὴ συλλογὴ καὶ τὸν βιολογικὸ-χημικὸ καθαρισμὸ τῶν λυμάτων χώρων ἀποθέσεως ἀποβλήτων (*landfills*).

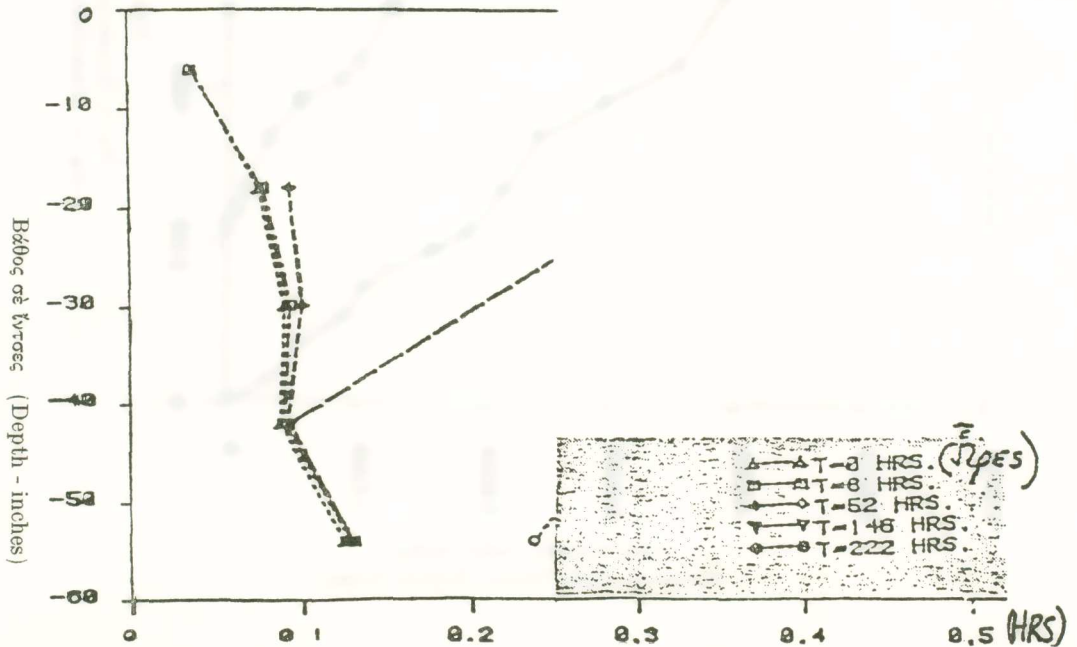
Εργαστηριακά και θεωρητικά αποτελέσματα Μοντέλου



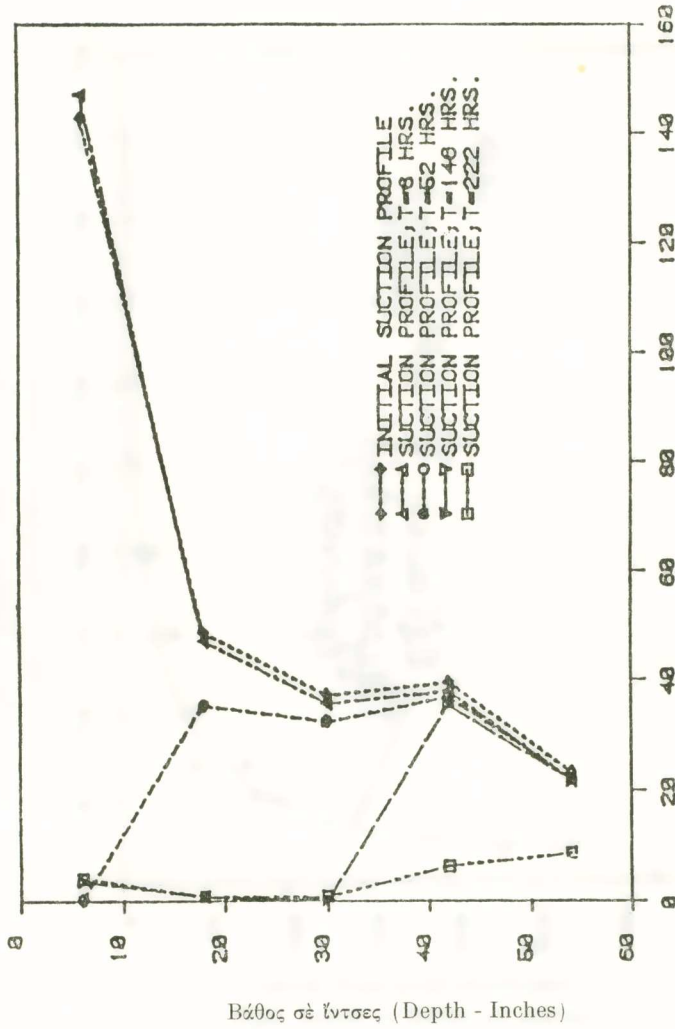
Εικ. 1. Συγκριτικοί Όγκοι Βροχής και Λιμάτων  
 Fig. 1 (Cumulative Rainfall and Leachate Volumes)



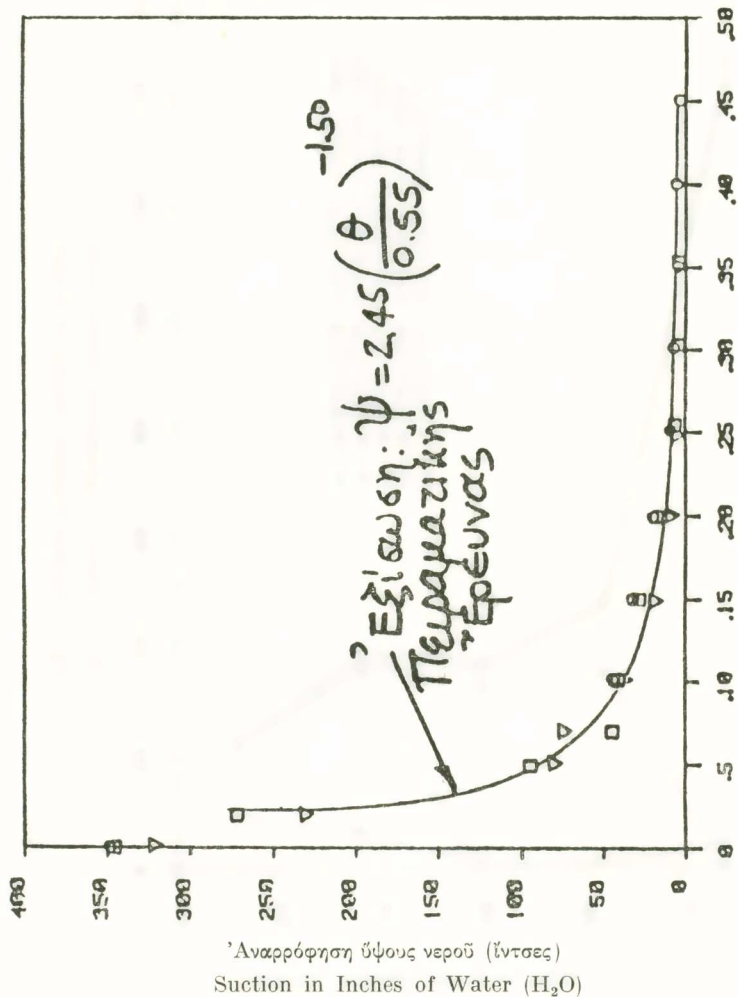
Ειχ. 2. Χρονική Ίστορία τών Μετρήσεων Πιέσεως Αναρροφήσεως στη στάθμη 1.  
 Fig. 2. (Time History of Suction Pressure Readings-Level 1)

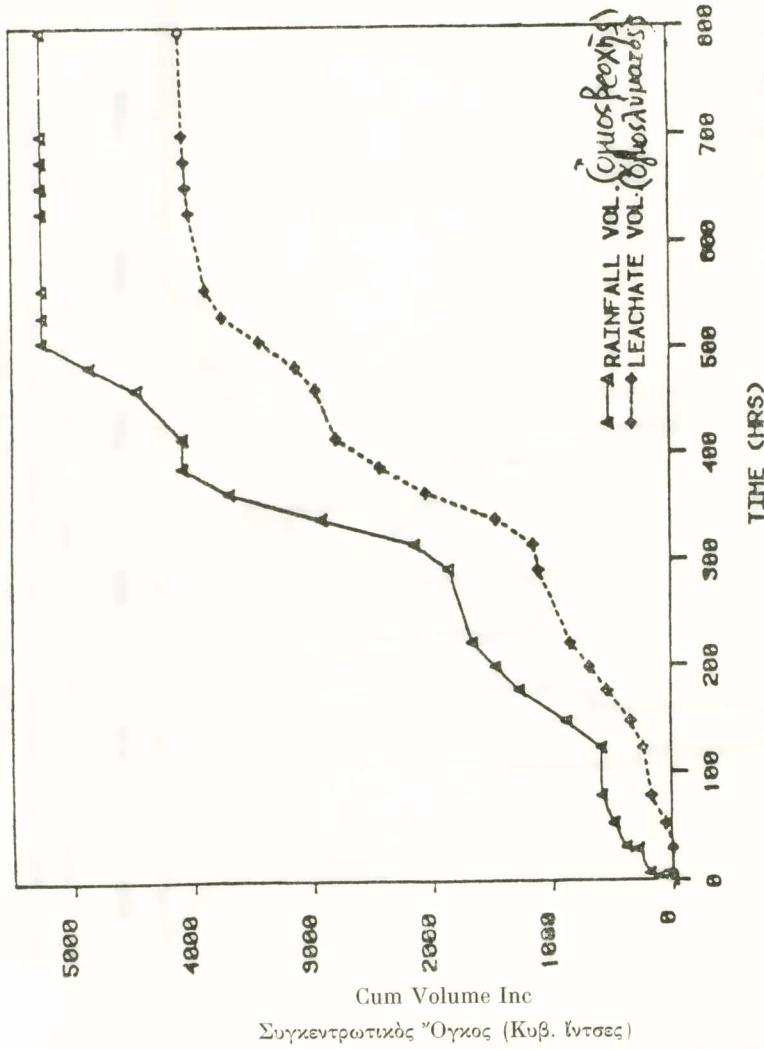


Ειχ. 3. Περιεχόμενο Υγρασίας (Moisture Content)  
 Fig. 3. Moisture Content Profiles in Leaching Column



Είχ. 4. Πίεση Αναρροφήσεως (Ύψος νερού)  
 Fig. 4. Suction Pressure (Inches of Water)





Ειχ. 6. Συγκεντρωτικοί Όγκοι Βροχής και Λεημάτων — Δευτέρα Φάση  
 Fig. 6. Cumulative Rainfall and Leachate Volumes - Second Phase

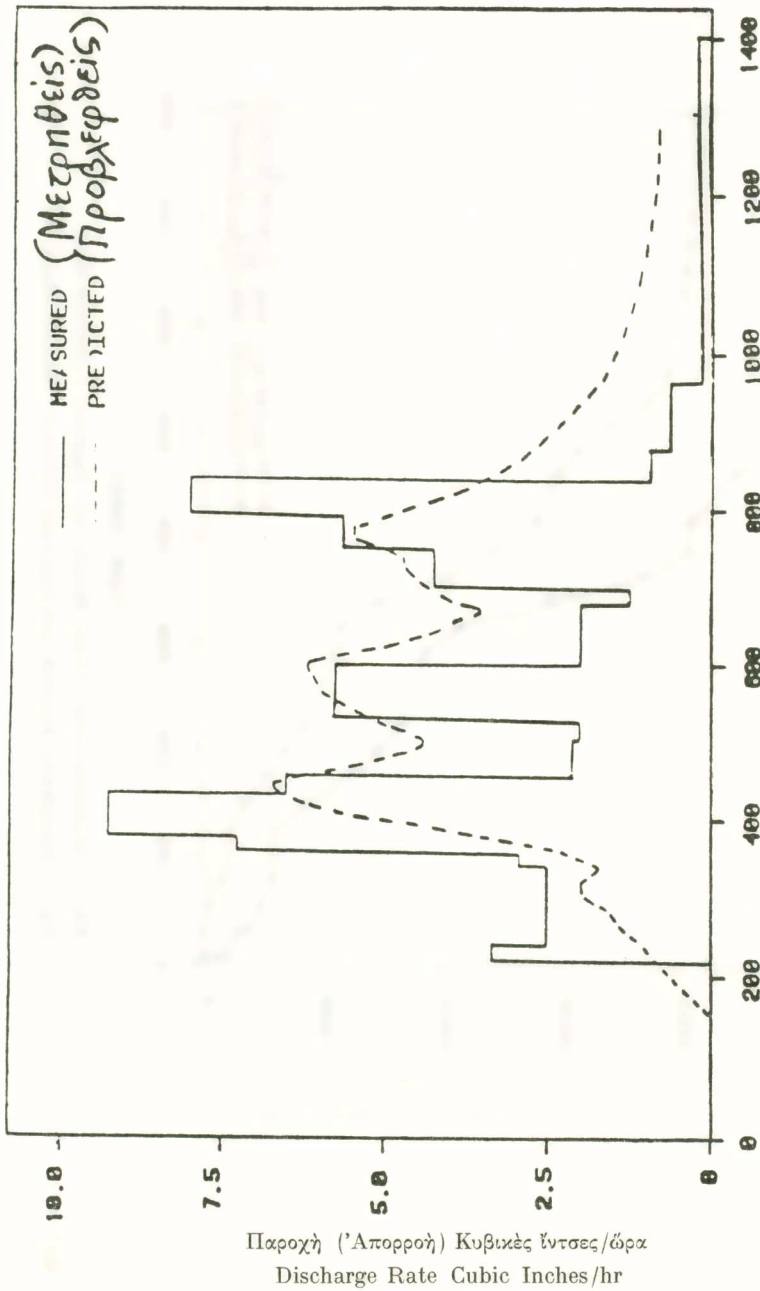
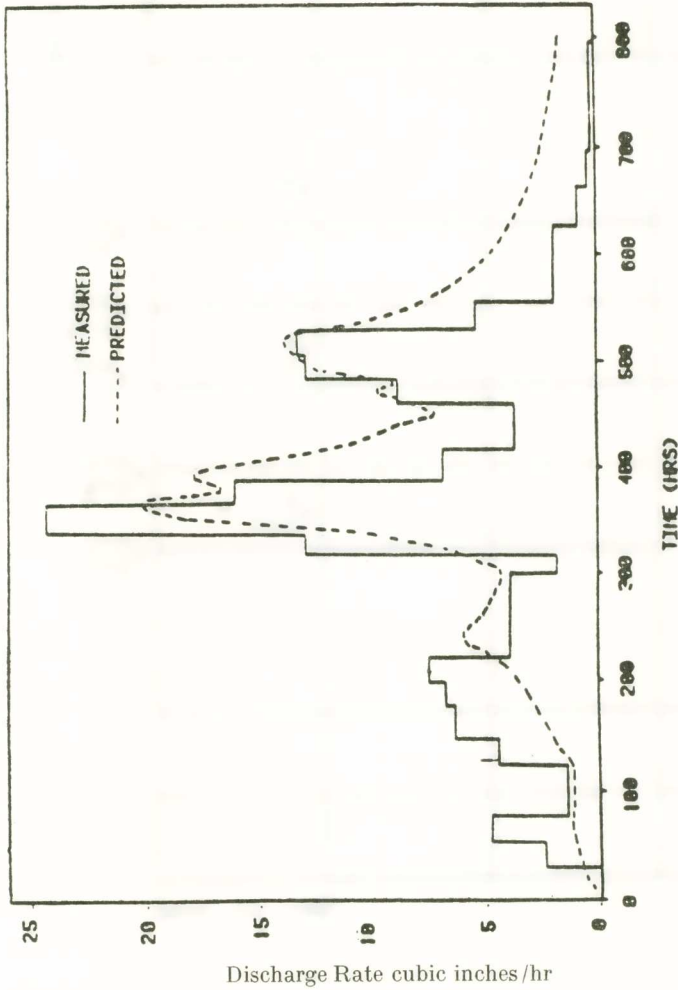


Fig. 7. Measured and Predicted Discharge Rates for First Phase (Calibration)

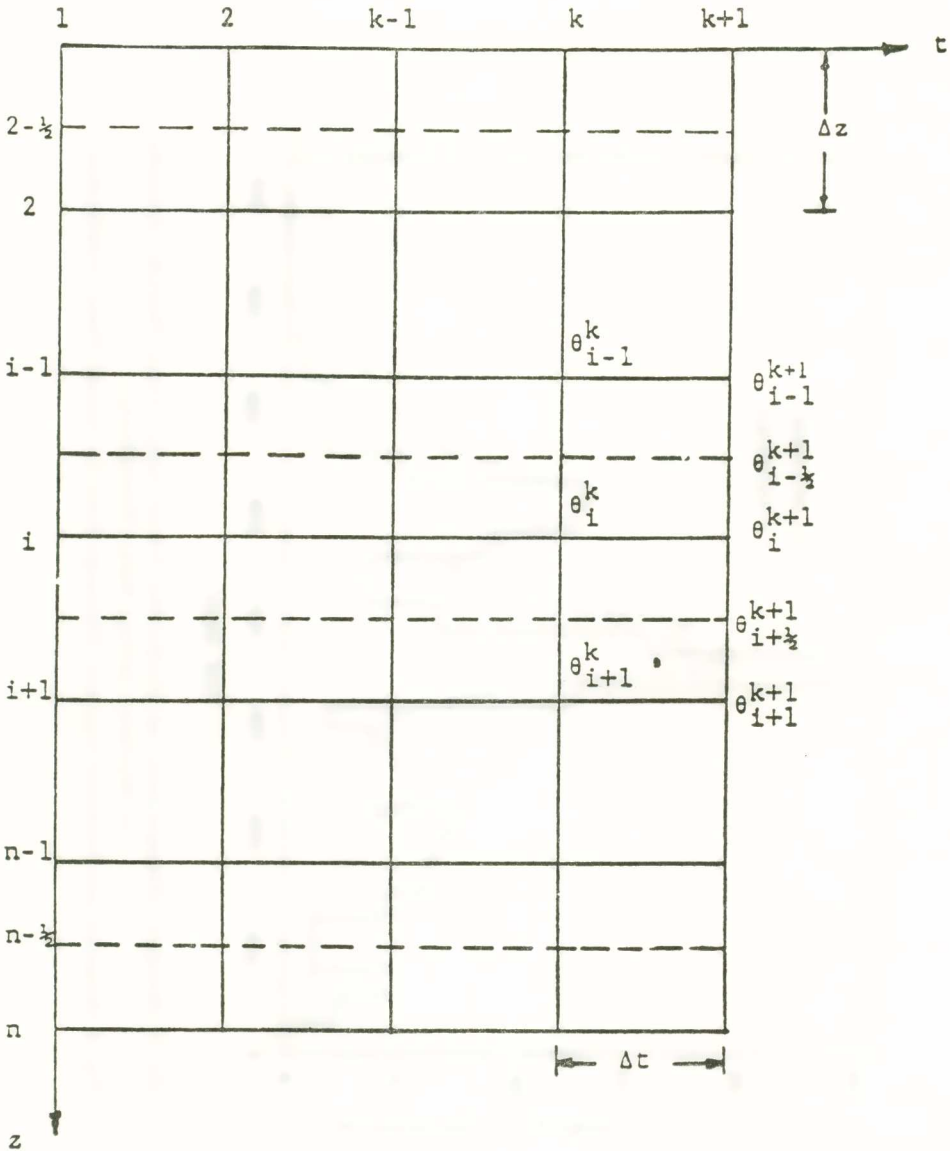
Εβλ. 7. Μετρηθείς (Πειραματικώς) και Προβλεφθείς (Αναλυτικώς) Όγκος Απορροής  
 του Μοντέλου (Αποτίμηση) Πρώτη Φάση.



Εικ. 8. Μετρήσεις (Πειραματικώς) και Προβλεφθείς (Αναλυτικώς) Όγκος Παροχής Απορροής  
του Μοντέλου - Δευτέρα Φάση (Επαλήθευση)

Fig. 8. Measured and Predicted Leachate Discharge Rates for Second Phase (Verification)





Εικ. 9. Πλαίσιο Διακαθορισμού Χρόνου — Χώρου Ἀριθμητικοῦ Σχήματος  
«Πεπερασμένων Διαφορῶν»

Fig. 9. Discretization of the time-space domain for fully implicit finite differences

$$d_1 \theta_1^{k+1} + c_1 \theta_2^{k+1} = b_1$$

$$a_2 \theta_1^{k+1} + d_2 \theta_2^{k+1} + c_2 \theta_3^{k+1} = b_2$$

(2-65)

$$a_3 \theta_2^{k+1} + d_3 \theta_3^{k+1} + c_3 \theta_4^{k+1} = b_3$$

.....

$$a_{n-1} \theta_{n-2}^{k+1} + d_{n-1} \theta_{n-1}^{k+1} + c_{n-1} \theta_n^{k+1} = b_{n-1}$$

$$a_n \theta_{n-1}^{k+1} + d_n \theta_n^{k+1} = b_n$$

The system 2-65 is called tridiagonal since its coefficient matrix is a tridiagonal matrix of the form:

$$A = \begin{bmatrix} d_1 & c_1 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0 \\ a_2 & d_2 & c_2 & 0 \dots 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & d_3 & c_3 \dots 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 \dots a_{n-1} & d_{n-1} & c_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \dots 0 & a_n & d_n \end{bmatrix} \quad (2-66)$$

This system can be solved by the Gaussian elimination method (Carnahan, et. al. 1969). Assuming that  $d_1 \neq 0$ , the second equation of the system can be written as:

$$d_2' \theta_2^{k+1} + c_2 \theta_3^{k+1} = b_2' \quad (2-67a)$$

where

$$d_2' = d_2 - \frac{a_2}{d_1} c_1 \quad \text{and} \quad b_2' = b_2 - \frac{a_2}{d_1} b_1 \quad (2-67b)$$

Εικ. 10. Δείγμα 'Αριθμητικού Σχήματος 'Υπολογισμού-Μητρώο των Συντελεστών (Coefficient Matrix) του 'Αριθμητικού Συστήματος.

Συνδυασμός Μοντέλων Μεταφοράς (ροής) Ύγρασις και Έπιταχυνομένης Κι-  
νήσεως-Διαχύσεως.

(Combined Moisture Transport and Advection/Dispersion Model)

a. *Computer Program and Input Data Listing*

(Πρόγραμμα Ηλεκτρονικού Υπολογιστού και Δεδομένα Είσοδης Υπολο-  
γισμών).

b. *Sample Run* — (Δεῖγμα μορφής Υπολογισμών.

```

C...THIS PROGRAM MODELS THE MOISTURE FLOW AND TRANSPORT OF MASS
C...IN SANITARY LANDFILLS IT IS SUBDIVIDED INTO TWO MAJOR
C...SUB-MODELS: THE MOISTURE MODEL YGRA AND THE SOLUTE TRANSPORT
C...MODEL SOLUTE
C...THE MOISTURE MODEL MUST BE APPLIED BEFORE THE MASS TRANSPORT
C...MODEL CAN.
C
C
C...THE CONTROL IC1 IS USED TO DETERMINE WHICH SUB-MODEL
C...WILL BE EXECUTED.
C
DIMENSION CONC(400),BIOM(400)
DIMENSION TITL1(80),TITL2(80)
INTEGER UNT1,UNT2,UNT3,UNT4,UNT5,UNT6,UNT7,UNT8,UNT9,UNNT1,UNNT2,UNNT3
INTEGER UNNT4,UNNT5,UNNT6,UNNT7,UNNT8,UNNT9,UNNT10,UNNT11,UNNT12,UNNT13,UNNT14,UNNT15,UNNT16,UNNT17,UNNT18,UNNT19
INTEGER UNNT20,UNNT21,UNNT22,UNNT23,UNNT24,UNNT25,UNNT26,UNNT27,UNNT28,UNNT29
INTEGER UNNT30,UNNT31,UNNT32,UNNT33,UNNT34,UNNT35,UNNT36,UNNT37,UNNT38,UNNT39
COMMON/BLK1/M
COMMON/BLK2/THNEW(400),THOLD(400)
COMMON/BLK4/:FL1,:FL2,:AKS,:THS,:THP,:AM,:AN,:AI,:BE,:B,:THAO
COMMON/BLK41/:FL3,:FL4,:FL5,:FL6,:FL7
COMMON/BLK5/PSIR,DZER,BET,THZER
COMMON/BLK6/AK(400),DIFF(400),AKM(400),AKP(400),DM(400),DP(400)
COMMON/BLK7/TH(400)
COMMON/BLK8/EPS
COMMON/BLK9/P(750),ET(750)
COMMON/BLK10/UT,TIME(750)
COMMON/BLK11/COLD(400),QNEW(400),DISCH(400)
COMMON/BLK14/THIN(400),DEP(400)
COMMON/BLK15/UDT1,UDT2,UTHQ1,UTHQ2,UAKS1,UAKS2,UDZ1,UDZ2,AREA
COMMON/BLK16/DZ,DT
COMMON/BLK40/BCONC(400),BBIOM(400),BDISCH(400)
COMMON/BLK18/AMU,AKO,AAKM,YEL
COMMON/BLK19/XO,CO,H,TMAX,INDEX
COMMON/BLK20/:FREQ1,:FRQ1,:JFR,:IFREQ2,:IFRO2
COMMON/BLK21/:TL,:SL,:BL
COMMON/BLK22/PP(750)
COMMON/BLK23/THSU(750),D(750),UP1,UP2
COMMON/BLK24/THAV(400),TRTH(400)
COMMON/BLK27/VOLE(750),TRA(750),VSUM(750)
COMMON/BLK25/IT,INT
COMMON/BLK28/M
COMMON/BLK26/ICOUNT
COMMON/BLK50/AKEX,CST,ALAM
C
C... READ TITLE
C
READ(5,1016) (TITL1(I),I=1,80)
READ(5,1016) (TITL2(I),I=1,80)
WRITE(6,2043) TITL1,TITL2
C
C... READ DATA

```

Μετά τὸ πέρασ τῆς ἀνωτέρω ἀνακοινώσεως, ὁ ἀκαδημαϊκὸς κ. **Γεώργιος Μερικάς** εἶπε τὰ ἐξῆς:

Ἐπιθυμῶ νὰ σχολιάσω διὰ βραχέων ἕνα-δύο σημεῖα τῆς ἐξαιρετικῆς ὁμιλίας τοῦ κυρίου Μπουροδήμου.

Ἀπὸ τὴν μέχρι πρόσφατα γνωστὴ μου βιβλιογραφία γιὰ τὴν καρκινογένεση διατελῶ μὲ τὴν ἄποψη ὅτι οἱ ἀπειλητικὲς προβλέψεις τοῦ κ. Μπουροδήμου δὲν εἶναι πλήρως δικαιολογημένες, οὔτε ὅτι ὑπάρχουν ἀριθμοὶ ἰδιαίτερος ὑψηλῆς νοσηρότητας ἀπὸ καρκίνου στὴν περιοχὴ τῆς Νέας Ἱερσέης.

Πιθανολογῶ ὅτι οἱ ἀναφορὲς τοῦ ἀφοροῦν τῇ χημικῇ ἐπὶ πειραματοζώων καρκινογένεση, ἡ ὁποία εὐτυχῶς δὲν μεταφέρεται παρὰ κατὰ μικρὸ ποσοστὸ στὸν ἄνθρωπο. Καρκινογόνα χημικὰ ἔχουν ἀνακαλυφθεῖ σὲ χιλιάδες στὰ πειραματοζώα, ἀπὸ αὐτὰ ὅμως πολὺ λίγα ἔχουν ἀναγνωρισθεῖ ὡς καρκινογόνα καὶ στὸν ἄνθρωπο. Λιγότερα ἀπὸ τριάντα, καὶ ἐξ αὐτῶν πολὺ λίγα σ' ἀξιόλογη συχνότητα.

Θὰ ἤθελα ἀκόμα νὰ ἐρωτήσω τὸν ὁμιλητὴ ἂν ἔχει παρέλθει τόσος χρόνος μόλυνσης τοῦ ἐδάφους τῆς περιοχῆς τῆς Ν. Ἱερσέης, ποῦ νὰ ἐπαρκεῖ γιὰ αὔξηση τῆς συχνότητος τοῦ καρκίνου στὴν περιοχὴ τῆς. Γιατί, ὅπως εἶναι γνωστὸ, ἡ καρκινογένεση διαρκεῖ μέχρι τὴν κλινικὴ ἐκδήλωση τῆς νόσου ἐπὶ πολλὰ χρόνια. Καὶ σὲ ποιὲς ἐντοπίσεις τοῦ καρκίνου ἀφορᾷ ἡ αὔξηση συχνότητος.

Ἀπάντηση τοῦ Καθ. κ. **Ε. Α. Μπουροδήμου**, στὴν ἐρώτηση τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. **Γεωργίου Μερικά**.

Ἡ ἐρώτηση τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Γ. Μερικά, σχετικὰ μὲ τὸ πρόβλημα τῆς ἐξάπλωσης τῶν καρκινικῶν παθήσεων στὴ Νέα Ἱερσέη τὰ τελευταῖα εἴκοσι πέντε χρόνια, θέτει ἕνα ἐξόχως σοβαρὸ πρόβλημα. *Εἶναι τὸ πρόβλημα τοῦ ὄλου πλέγματος τῆς καρκινογένεσεως σὲ ἀνθρώπινους ὀργανισμοὺς καὶ τὴ σχέση τῆς μὲ συνθήκες τοῦ περιβάλλοντος καὶ μὲ ἐπιπτώσεις δυσμενῶν συνθηκῶν τοῦ περιβάλλοντος χώρου καὶ τοῦ οἰκοσυστήματος τῆς περιοχῆς.*

— Εἶναι ἀκριβῶς τὸ ἄλλο ὡς σήμερα πρόβλημα — καὶ βαθὺ μυστήριον — τῆς αἰτιολογίας, νοσολογίας καὶ παθολογίας τῶν καρκινικῶν παθήσεων, πάνω στὸ ὁποῖο ἐργάζονται σήμερα χιλιάδες κορυφαίων ἐπιστημόνων, στὰ τελειότερα ἐρευνητικὰ κέντρα τῆς Εὐρώπης καὶ τῆς Ἀμερικῆς μὲ προϋπολογισμοὺς δαπανῶν ἐρεύνης ποῦ ἀνέρχονται σὲ ἑκατοντάδες ἑκατομμυρίων δολλαρίων τὸ χρόνο.

— Δὲν ὑπάρχει σήμερα αὐστηρὴ καὶ ἐπιστημονικὰ θεμελιωμένη αἰτιοκρατικὴ καὶ πλήρης συσχέτιση (αἰτίων καὶ αἰτιατῶν) τῆς κυτταρικῆς διαταραχῆς ποῦ ὀδηγεῖ

στη δημιουργία καρκινικών όγκων. Έτσι ή όλη έρευνα, «γνώση», «έμπειρία» και τά προληπτικά (ή κατασταλτικά) μέτρα κατά του καρκίνου στηρίζονται σε «στατιστικούς συσχετισμούς» (*Statistical correlation and inference*). Στην Πολιτεία τής Νέας Ίερσέσης, οί χῳροι απόθεσης σκουπιδιῳν (landfills) δεκαπλασιάστηκαν τά τελευταία σαράντα χρόνια (άπό 20 περίπου έγιναν σήμερα διακόσια). Η χρήση ποσίμου νερού άπό πηγάδια τριπλασιάστηκε τά τελευταία τριάντα χρόνια και μαζί οί καρκινικές παθήσεις (στομάχου, νεφρών, μήτρας, έντερικου συστήματος) αύξήθηκαν κατά 20 % (είκοσι τοίς έκατόν) περίπου, στους κατοίκους τῳν περιοχῳν τῳν landfills, πού χρησιμοποιοῦν για οικιακές χρήσεις, τό νερό τῳν «παρακειμένων» στους χῳρους άπόρριψης-άπόθεσης σκουπιδιῳν, πηγαδιῳν. Ο στατιστικός συσχετισμός (*Statistical correlation*) αύξήσεως τῳν καρκινικών παθήσεων με την αύξηση του άριθμου τῳν Landfills — και τή σοβαρή ρύπανση-μόλυνση άπό τοξικές ούσιες κυρίως τῳν ύπογειῳν ύδροταμιεντήρων άπό τις «διηθήσεις»-Leachates, βασίζονται (και στηρίζονται) κυρίως, στη συστηματική μελέτη και συνεχή λήψη στοιχείων και παρατηρήσεων-μετρήσεως τής Ύπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος τής Νέας Ίερσέης μιās είκοσιπενταετίας (1950 - 1975) — ὅσον περίπου «άπαιτεῖ» και προϋποθέτει ή νοσολογία και ή παθολογία «έκδηλώσεως» του καρκίνου πού άνέφερε ὀρθῳς ὁ Άκαδ. Γ. Μερίκας. (Η σχετική μελέτη έχει τόν τίτλο: «Toxics in ground water and cancer mortality trends 1950 - 1975» EPA - N.J.).